



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

**NÁVRH BETONOVÉHO PŘEMOSTĚNÍ
V PRŮMYSLOVÉM AREÁLU**

DESIGN OF THE BRIDGE IN THE INDUSTRY AREA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Rostislav Lipus

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV KLUSÁČEK, CSc.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Rostislav Lipus
Název	Návrh betonového přemostění v průmyslovém areálu
Vedoucí práce	doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry podle mapy

Základní normy:

ČSN 736201: Projektování mostních objektů

ČSN 73 6214: Navrhování betonových mostních konstrukcí

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady

Literatura: na základě doporučení vedoucím práce

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Jako nový návrh oproti stávajícímu mostnímu objektu o jednom poli zpracujte dvě až tři studie mostu včetně jejich zhodnocení.

Dále preferujte návrh monolitické konstrukce z předpjatého betonu. Most můžete navrhnout kolmý.

Dimenzování proveďte podle EN v rozsahu stanoveném vedoucím práce.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Podklady, studie a vizualizace

P2. Přehledné a podrobné výkresy zvoleného návrhu mostu

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x)

Popisný soubor závěrečné práce (1x)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce je návrh betonového přemostění v průmyslovém areálu přes řeku Balinka. Práce obsahuje statický výpočet konstrukce lávky o jednom poli, který byl vybrán ze tří variant. Vybraná varianta je tvořena šikmou předpjatou betonovou deskou podepřenou dvěma krajními opěrami. Výpočet účinku zatížení je proveden pomocí výpočetního softwaru Scia Engineer a porovnán s ručním výpočtem. Nosná konstrukce je posouzena na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Návrh je proveden v souladu ČSN EN 1992-2. Fáze výstavby konstrukce nebyly řešeny.

KLÍČOVÁ SLOVA

Betonové přemostění, lávka pro pěší a cyklisty, předpjatý beton, monolitická deska, jedno pole, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti, ztráty předpětí, průmyslový areál

ABSTRACT

The aim of this bachelor's thesis is the design and analysis of the concrete bridge in industrial area across river Balinka. Thesis contains static analysis of single span bridge which was chosen from three variants. Final variant is sloping prestressed concrete deck supported by two supports. Calculations were made by Scia Engineering software and compared with manual calculation. The supporting structure is assessed for the ultimate limit state and serviceability limit state. The design is created in accordance with ČSN EN 1992-2. This thesis does not contain the time dependent analysis.

KEYWORDS

Concrete bridge, pedestrian and bicycle bridge, prestressed concrete, monolithic deck, single span, serviceability limit state, ultimate limit state, losses of prestress, industrial area

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Rostislav Lipus *Návrh betonového přemostění v průmyslovém areálu*. Brno, 2018. 41 s., 128 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2018

Rostislav Lipus
autor práce

PODĚKOVÁNÍ:

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Ladislavu Klusáčkovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a čas věnovaný zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za jejich podporu a důvěru během celého mého studia.

OBSAH

1	ÚVOD.....	10
2	PODKLADY.....	11
3	VARIANTY.....	12
3.1	Varianta A.....	12
3.2	Varianta B	13
3.3	Varianta C.....	14
3.4	Výběr varianty	14
4	GEOMETRIE A TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU.....	15
4.1	NOSNÁ KONSTRUKCE	15
4.1.1	Uložení.....	15
4.1.2	Mostní závěr	15
4.2	MOSTNÍ SVRŠEK.....	16
4.2.1	Vozovka	16
4.2.2	Záchytné zařízení na mostě.....	16
4.3	SPODNÍ STAVBA MOSTU.....	16
4.4	MATERIÁL.....	16
5	ZATÍŽENÍ	17
5.1	STÁLÉ ZATÍŽENÍ.....	17
5.1.1	Vlastní tíha nosné konstrukce.....	17
5.1.2	Ostatní stálé zatížení	17
5.2	ZATÍŽENÍ DOPRAVOU.....	17
5.2.1	Rovnoměrné zatížení chodci	17
5.2.2	Obslužné vozidlo.....	18
6	VÝPOČETNÍ MODEL.....	19
7	MAXIMÁLNÍ OHYBOVÉ MOMENTY V DANÝCH ZATĚŽOVACÍCH STAVECH	20
7.1	KOMBINACE ZATÍŽENÍ.....	20
7.1.1	Kombinace pro mezní stav použitelnosti	20
7.1.2	Kombinace pro mezní stav únosnosti	21
8	NÁVRH PŘEDPĚTÍ	22
8.1	NÁVRH POČTU LAN	23
8.2	NUTNÁ PLOCHA PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE	23
8.3	NÁVRH POČTU PŘEDPÍNACÍCH LAN	23
9	UMÍSTĚNÍ PŘEDPÍNACÍCH KABELŮ.....	24

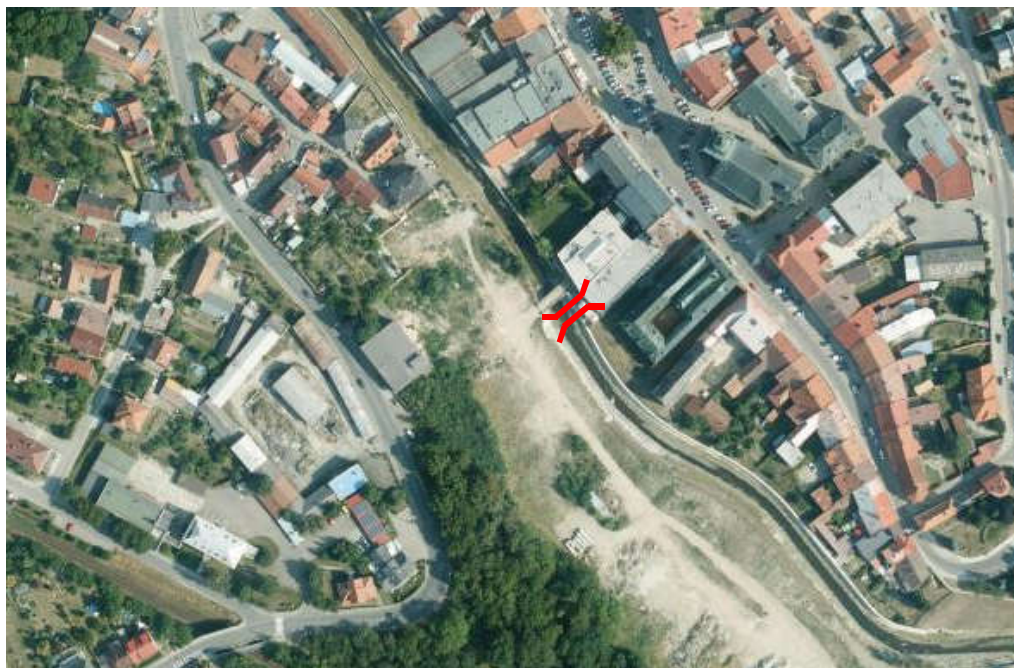
10	VÝPOČET OKAMŽITÝCH ZTRÁT	25
10.1	PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY OSLABENÉHO PRŮŘEZU KANÁLKY	25
10.2	CELKOVÉ OKAMŽITÉ ZTRÁTY	25
10.3	POROVNÁNÍ VYPOČTENÝCH ZTRÁT S UVAŽOVANÝMI	26
11	VÝPOČET DLOUHODOBÝCH ZTRÁT	26
11.1	POSOUZENÍ PRO ČASOVÉ INTERVALY:	26
11.2	VÝSLEDNÉ DLOUHODOBÉ ZTRÁTY	26
11.3	STANOVENÍ PŘEDPÍNACÍ SÍLY V ČASE ŽIVOTNOSTI MOSTU	27
12	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	27
12.1	OMEZENÍ NAPĚTÍ	27
12.1.1	Omezení napětí v předpínací výztuži	27
12.1.2	Omezení napětí betonu v tlaku	28
12.1.3	Omezení napětí betonu v tahu	28
13	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – POSOUZENÍ NA OHYB	29
13.1	PODÉLNÝ SMĚR	29
13.2	PŘÍČNÝ SMĚR	30
13.3	NÁVRH VÝZTUŽE PŘI HORNÍM LÍCÍ DESKY	31
13.3.1	Podélná horní výztuž	31
13.3.2	Příčná horní výztuž	31
14	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – POSOUZENÍ NA SMYK	32
15	KOTEVNÍ OBLAST	34
16	POSOUZENÍ NA PŘEKLOPENÍ	34
17	OMEZENÍ PRŮHYBU	34
18	ZÁVĚR	35
19	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	36
20	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	37
20.1	LATINSKÁ PÍSMENA	37
20.2	ŘECKÁ PÍSMENA	39
21	SEZNAM OBRÁZKŮ	40
22	SEZNAM TABULEK	40
23	SEZNAM PŘÍLOH	41

1 ÚVOD

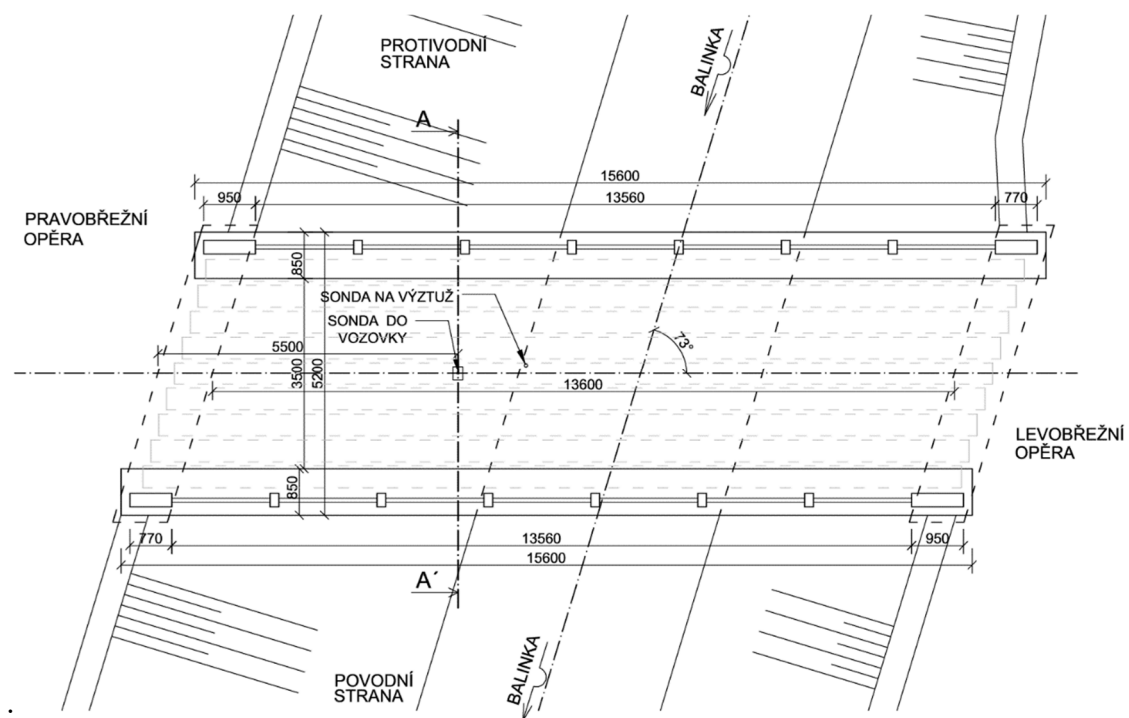
Cílem této bakalářské práce je návrh a statické posouzení lávky pro pěší a cyklisty o jednom poli. Lávka se nachází v bývalém průmyslovém areálu SVIT ve městě Velké Meziříčí přes řeku Balinka. Spojuje místní zástavbu s Náměstím Velké Meziříčí. Za účelem návrhu lávky, byly vypracovány 3 studie. Na základě architektonických, ekonomických a statických požadavků byla vybrána varianta A – dodatečně předpjatá deska. Konstrukce mostu bude zatížená dle platných norem ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou. Vnitřní síly budou zjištěny pomocí programu SCIA Engineer a ověřeny ručním výpočtem (metodou vzdorující šířky). Dimenzování a posouzení bude provedeno dle platných norem.

2 PODKLADY

Vstupními údaji pro zpracování studií variant přemostění, byl statický posudek stávající konstrukce mostu v místě návrhu lávky.



Obrázek 1: Situace širších vztahů



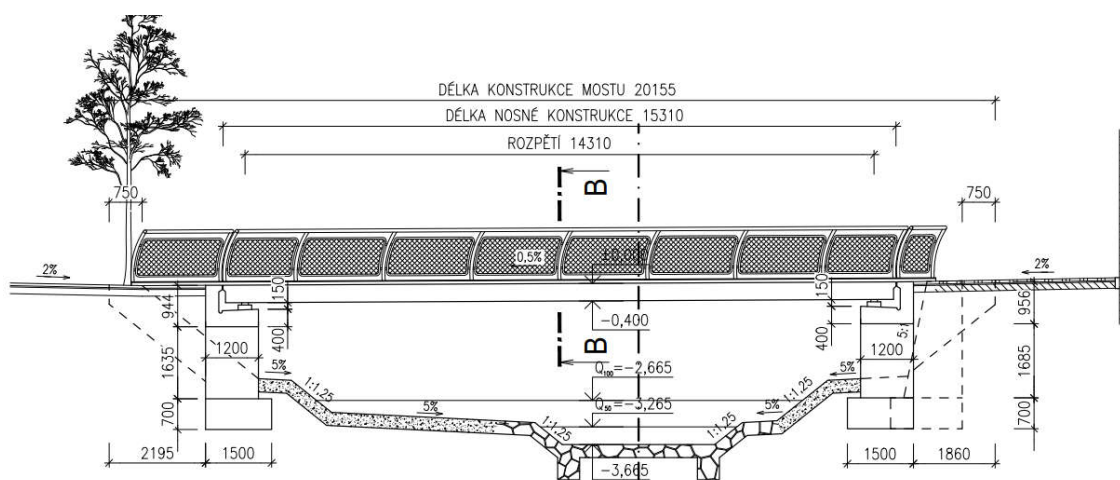
Obrázek 2: Situace

3 VARIANTY

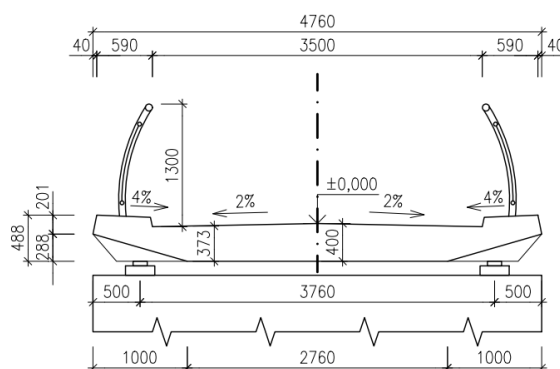
3.1 Varianta A

Jako varianta A byla zpracována studie pro lávku o jednom poli, tvořenou předpjatou lichoběžníkovou deskou. Deska má rozpětí 14,31 m a je podepřena dvěma opěrami. Mostovka má podélný sklon 0,5% a příčný střešovitý sklon 2%.

Průřez je po délce konstantní, symetrický. Šířka nosné konstrukce 4,76 m, volná šířka na lávce 3,50 m, tloušťka desky uprostřed je 0,4 m. Zábradlí má obloukový tvar o výšce 1,30 m z důvodu plánovaného cyklistického provozu.



Obrázek 3: Varianta A – podélný řez

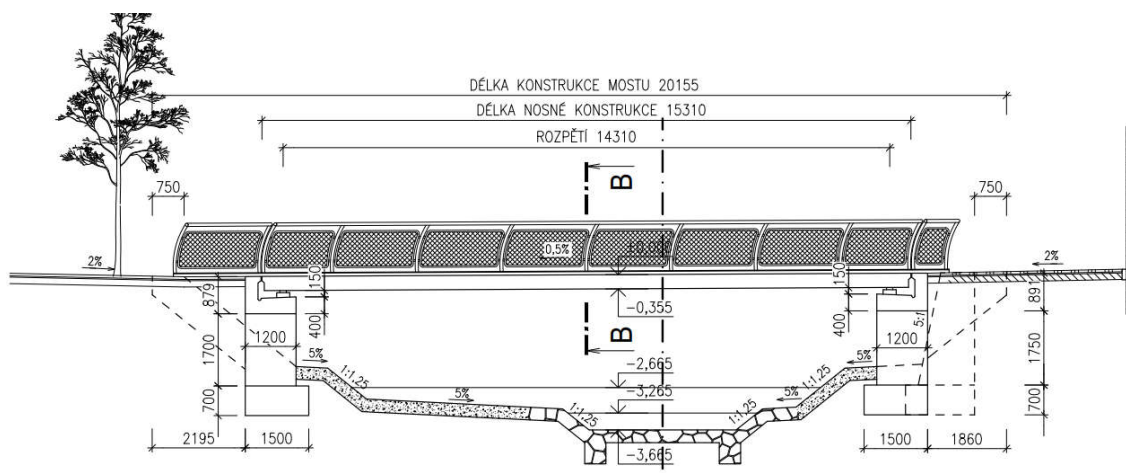


Obrázek 4: Varianta A – příčný řez

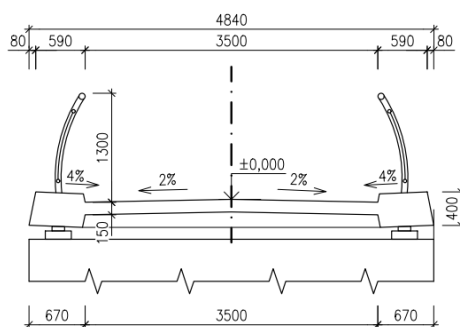
3.2 Varianta B

Jako varianta B byla zpracována studie lávky o jednom poli, tvořenou dvěma předpjatými trámy. Lávka má rozpětí 14,31 m a je podepřena dvěma opěrami. Mostovka má podélný sklon 0,5% a příčný střechovitý sklon 2%.

Půřez je složen ze dvou trámů, mezi trámy je deska tloušťky 0,15 m vyztužená po 2 m žebry. Šířka nosné konstrukce 4,84 m, volná šířka na lávce 3,5 m, výška trámů 0,4 m, šířka 0,670 m. Zábradlí má obloukový tvar o výšce 1,30 m z důvodu plánovaného cyklistického provozu.



Obrázek 5: Varianta B - podélný řez

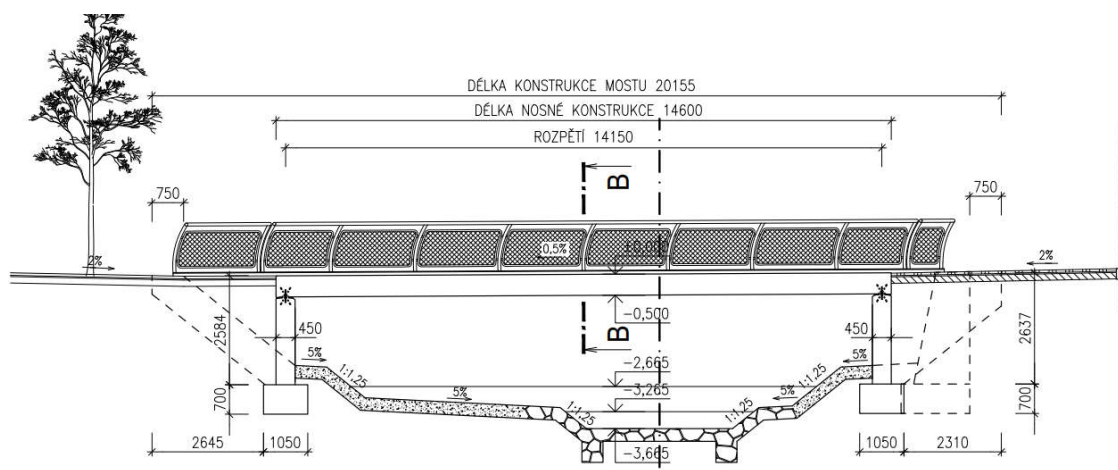


Obrázek 6: Varianta B - příčný řez

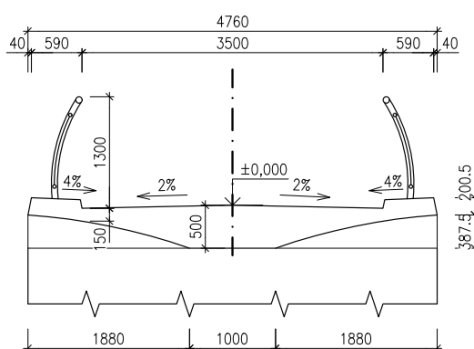
3.3 Varianta C

Jako poslední varianta C byla zpracována studie lávky o jednom poli tvořená jedním předpjatým trámem. Jedná se o rozpěrákovou konstrukci, trám tvoří rozpěru, která je připojena vrubovým kloubem k opěrám. Trám má rozpětí 14,15 m. Mostovka má podélný sklon 0,5% a příčný střešovitý sklon 2%.

Průřez je tvořen trámem o výšce 0,6 m a šířce 1 m s parabolickými náběhy. Šířka nosné konstrukce 4,77 m, volná šířka na lávce 3,5 m. Zábradlí má obloukový tvar o výšce 1,30 m z důvodu plánovaného cyklistického provozu.



Obrázek 7: Varianta C - podélný řez



Obrázek 8: Varianta C - příčný řez

3.4 Výběr varianty

Pro podrobnější zpracování této bakalářské práce byla vybrána Varianta A – předpjatá lichoběžníková deska o jednom poli. Díky své nízké tloušťce tato varianta nejlépe zapadá do velmi husté okolní zástavby. Pro most malého rozpětí má tato varianta nejvhodnější konstrukční řešení, což se promítne do ekonomického hlediska.

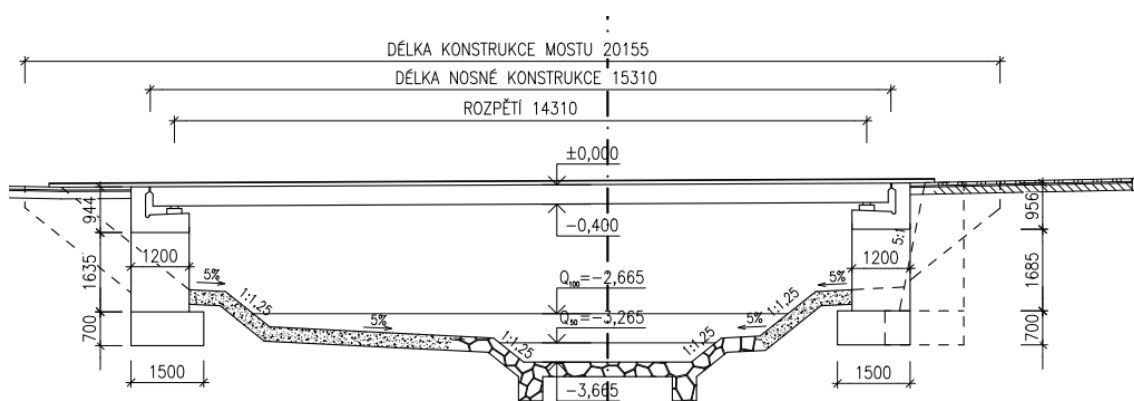
4 GEOMETRIE A TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU

4.1 NOSNÁ KONSTRUKCE

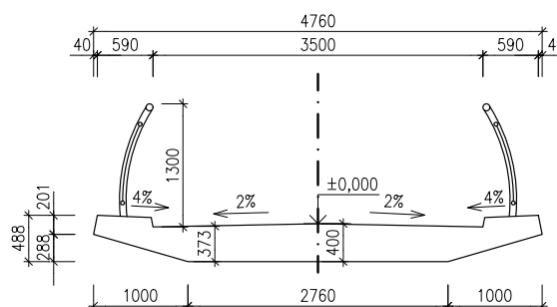
Nosná konstrukce mostu je tvořena šikmou dodatečně předpjatou betonovou deskou s rozpětím $L=14,31$ m a šířkou 4,76 m. Jedná se o lichoběžníkový průřez, jehož tloušťka se mění s příčným sklonem vozovky. V ose mostu je výška desky 0,4m a v ose odvodnění 0,26 m.

Podélný sklon konstrukce je 0,5% a střešovitý příčný sklon 2% na obě strany. Deska má levou šikmost a úhel křížení 73°.

Vzhledem k malé intenzitě cyklistů (<150 cyklistů/hodinu) byla zvolena volná šířka společné obousměrné stezky pro cyklisty a chodce 3,5m.



Obrázek 9: Schématický podélný řez



Obrázek 10: Schématický příčný řez

4.1.1 Uložení

Deska je uložena na 4 elastomerová ložiska na úložném bloku. Uložení mostu je provedeno tak, aby byly umožněny možné dilatační posuny mostní konstrukce. Proto je deska uložena na jedno pevné, jednosměrné na první opěře a na jedno jednosměrné a všesměrné na druhé opěře.

4.1.2 Mostní závěr

Na obou koncích desky je zřízen mostní závěr s jednoduchým těsněním spáry. Skládá se ze dvou kovových profilů a uložených čely proti sobě. Kovové prvky jsou kotveny do nosné konstrukce kotevními šrouby.

4.2 MOSTNÍ SVRŠEK

4.2.1 Vozovka

Mostovka je navržena jako přímo pojížděná monolitická - jednovrstvá. Jelikož je spolehlivě zajištěno úplné přenesení mezi PP vrstvou a mostovkou lze uvažovat PP vrstvu do průřezových charakteristik. Vlivy prostředí na horní povrch mostovky se uvažují XC4, XD3, XF4 a zvolená třída betonu C45/55.

4.2.2 Záchytné zařízení na mostě

Po obou stranách mostu je navrženo ocelové zábradlí ve tvaru oblouku o výšce 1300 mm, kvůli předpokládanému provozu cyklistů. Zábradlí je tvořeno rámem s drátěnou výplní.

4.3 SPODNÍ STAVBA MOSTU

Hlavní nosná konstrukce je uložena na masivních opěrách z betonu třídy C30/37, stupeň prostředí XC4, XD2, XF2. Šířka závěrné zídky je 300 mm, úložný práh je vysoký 0,4 m a spádován 4% do odtokového žlabu. Dřík 1. opěry je 1,635 m vysoký a 1,2 m široký, dřík 2. opěry má výšku 1,685 m a šířku 1,2 m. Základ má výšku 0,7 m a je proveden na podkladní beton tloušťky 100 mm. Mostní křídla jsou zavěšená na mostních opěrách.

Spodní stavba je chráněná izolačními asfaltovými pásy a odvodnění je provedeno za opěrou HDPE drenážní trubkou DN 150 do drenážního betonu.

4.4 MATERIÁL

Hlavní nosná konstrukce je navržena z betonu třídy C45/55. Pro spodní stavbu mostu je použit beton třídy C30/37. V celé konstrukci bude použita betonářská výztuž B550B. Předpínací výztuž navržena z ocelových lan Y1860 - S7- 15,7.

5 ZATÍŽENÍ

5.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

5.1.1 Vlastní tíha nosné konstrukce

Vlastní tíha byla vypočtena pomocí SCIA Engineer a ověřena ručním výpočtem, kde plocha příčného řezu byla přepočítána na plošné zatížení.

5.1.2 Ostatní stálé zatížení

Ve výpočtu je každé záchytné zařízení nahrazeno liniovým spojitým zatížením velikosti 1 kN/m'.

5.2 ZATÍŽENÍ DOPRAVOU

Pro návrh mostní konstrukce byly uvažovány sestavy zatížení gr1 a gr2. Jako modely zatížení, bylo využito rovnoměrného zatížení chodci a obslužného vozidla.

5.2.1 Rovnoměrné zatížení chodci

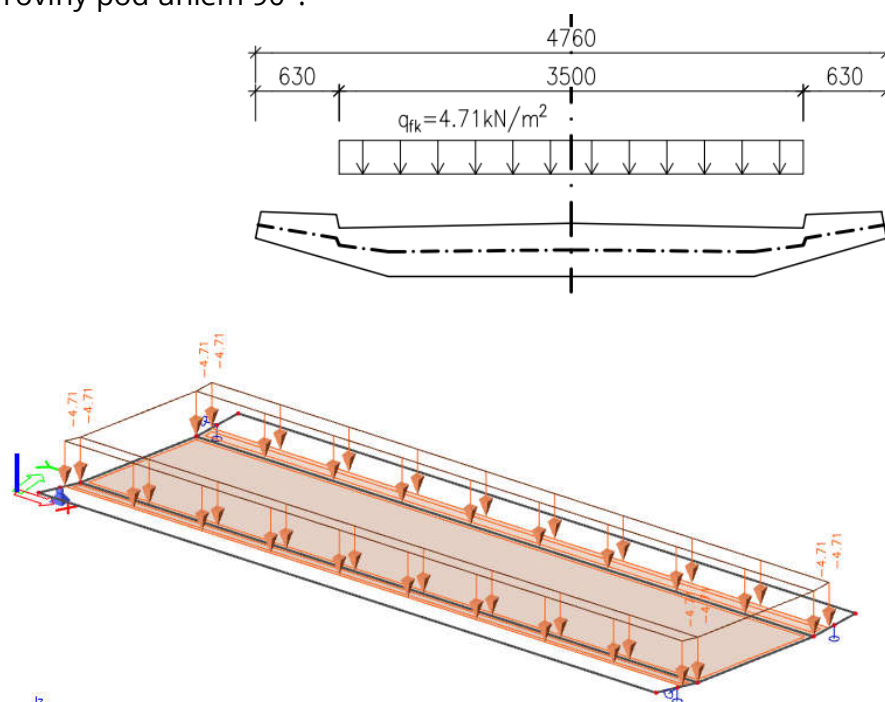
Velikost zatížení chodci a cyklisty na lávku pro pěší, pokud není požadován model zatížení LM4 se určí ze vztahu:

$$q_{fk} = 2,0 + \frac{120}{L + 30}$$

$$2,5 \text{ kN/m}^2 \leq q_{fk} \leq 5 \text{ kN/m}^2$$

L – zatěžovací délka

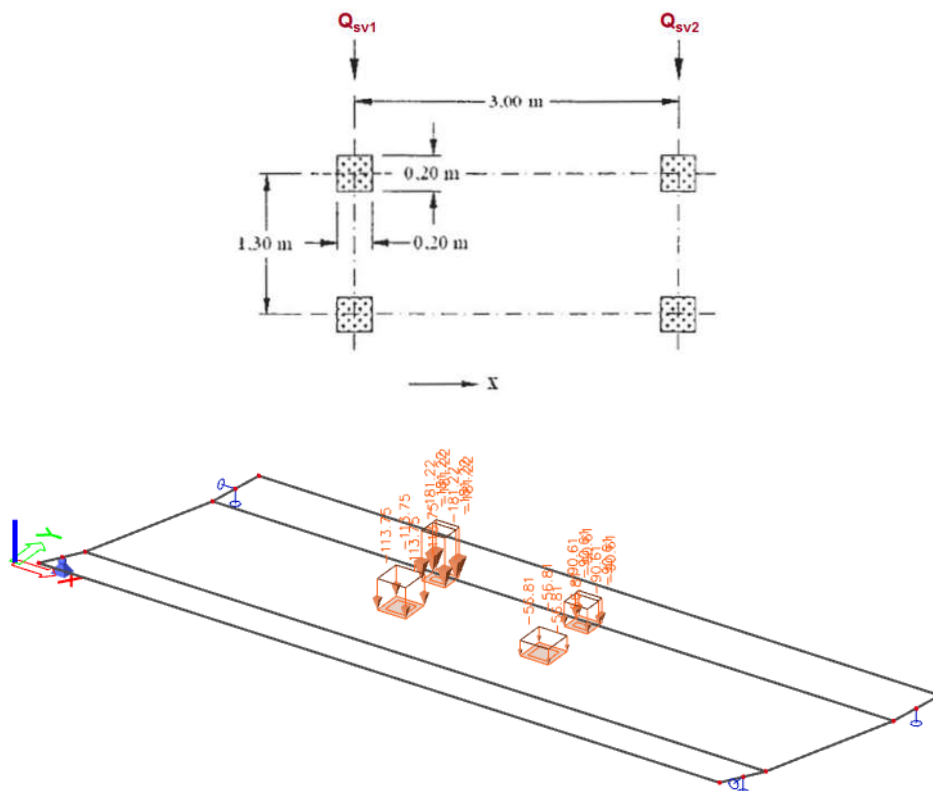
Výsledné zatížení se roznese na volnou šířku 3,5 m a promítne do střednicové roviny pod úhlem 90°.



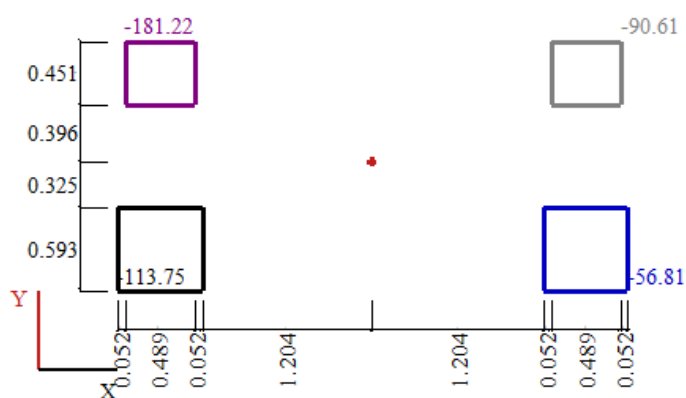
Obrázek 11: Rovnoměrné zatížení - chodci

5.2.2 Obslužné vozidlo

Jelikož není překážkou zabráněno vjezdu vozidel na nosnou konstrukci lávky, uvažuje se obslužné vozidlo Q_{serv} o celkové hmotnosti 12 tun. Model dvojnápravy 40 + 80 kN vzdálených 3 m od sebe. Vozidlo bylo umístěno k okraji volné šířky lávky pro vyvolání co nejnejpříznivějších účinků na konstrukci. Zatížení bylo rozneseno do střednicové roviny pod úhlem 45°.



Obrázek 12: Obslužné vozidlo

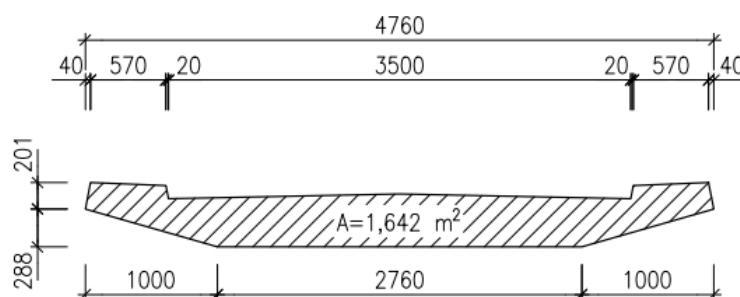


Obrázek 13: Obslužné vozidlo - roznos zatížení

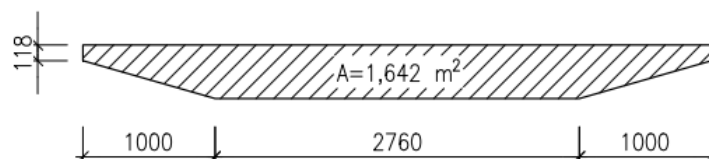
6 VÝPOČETNÍ MODEL

Výpočet vnitřních sil byl proveden v programu SCIA Engineer, kde byla vymodelována konstrukce mostu jako 2D šikmá deska s proměnným průřezem v příčném směru. Pro zjednodušení, byla přepočítána skutečná výška tak aby byla zachována plocha průřezu. Podepření desky bylo zvoleno tak, aby odpovídalo skutečnému uložení a umožňovalo posunům ve směru osy x a y.

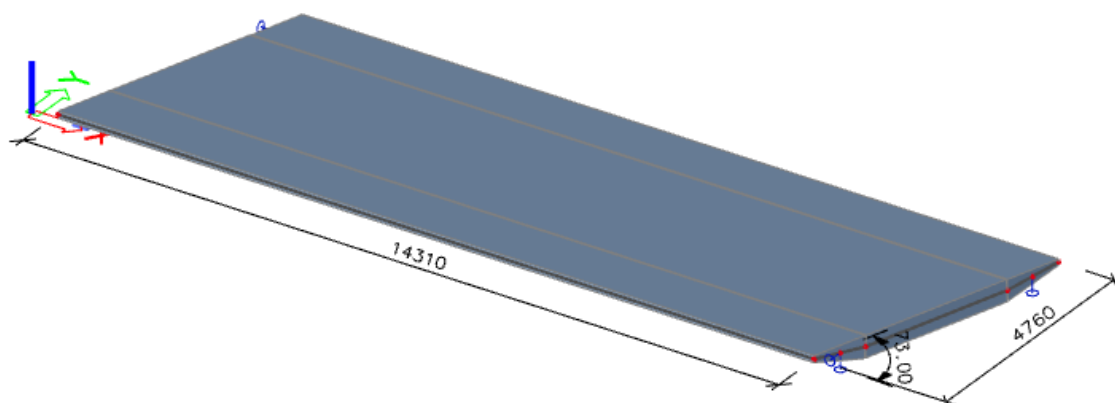
Modely zatížení byly rozneseny do střednice průřezu a umístěny na konstrukci tak, aby vyvodily maximální účinky zatížení v podélném i příčném směru.



Obrázek 14: Skutečný průřez



Obrázek 15: Idealizovaný průřez



Obrázek 16: Výpočetní model

7 MAXIMÁLNÍ OHYBOVÉ MOMENTY V DANÝCH ZATĚŽOVACÍCH STAVECH

Všechny ohybové momenty byly ověřené pomocí metody vzdorující šířky. Hodnoty se mírně liší což je způsobeno tvarem desky a zkosením v příčném směru, kde vznikají menší ohybové momenty než je předpokládáno v ručním výpočtu. Dalším faktorem bylo podepření konstrukce, které není po celé šířce desky jak předpokládá ruční výpočet, ale pouze v místech ložisek. Pro další výpočet byly použity hodnoty generované softwarem SCIA Engineer.

Jelikož se jedná o výpočet deskové konstrukce budeme využívat dimenzační hodnoty ohybových momentů na spodních vláknech m_{xD^-} a m_{yD^-} .

Z tabulek je zřejmé že ve směru x bude rozhodovat rovnoměrné zatížení chodci, kdyžto pro příčný směr použijeme hodnoty vyvozené obslužným vozidlem.

Tabulka 1: Porovnání výsledků ručního výpočtu a SCIA Engineer

	Ruční výpočet [kNm]	Scia m _x D ⁻ [kNm]
vlastní tíha	220.64	297.64
ostatní stálé	10.76	14.62
rovnoměrné zat.	88.65	120.37
obslužné vozidlo	90.19	108.01

Tabulka 2: Ohybový moment uprostřed rozpětí pro jednotlivé zatěžovací stavy

ZS	m_{xD^-} [kNm]	m_{yD^-} [kNm]
VI. Tíha - g_{ok}	297.64	50.74
Ostatní stálé - g_{1k}	14.62	1.57
Chodci - q_{fk}	120.37	21.81
Užit. Vozidlo - Q_{sv}	108.01	21.83

7.1 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Daná konstrukce byla posouzena na mezní stav použitelnosti a únosnosti. Pro SLS byla spočítána charakteristická, častá a kvazistálá kombinace. Pro ULS byly vypočteny kombinace podle rovnic 6.10a, 6.10b

7.1.1 Kombinace pro mezní stav použitelnosti

Kombinační součinitele pro SLS

Rovnoměrné zat. chodci

$$\psi_0 = \psi_1 = 0,4$$

$$\psi_2 = 0$$

Obslužné vozidlo

$$\psi_0 = \psi_1 = \psi_2 = 0$$

Charakteristická

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j,sup} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Častá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j,sup} + \psi_{1,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

Kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j,sup} + \psi_{2,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

Tabulka 3: Kombinace zatížení pro jednotlivé zatěžovací modely

gr1	m_{xD}^- [kNm]	m_{yD}^- [kNm]
Charakteristická	432.63	74.01
Častá	360.4	60.91
Kvazistálá	312.26	52.26

gr2	m_{xD}^- [kNm]	m_{yD}^- [kNm]
Charakteristická	418.66	74.09
Častá	312.26	52.26
Kvazistálá	312.26	52.26

7.1.2 Kombinace pro mezní stav únosnosti

$$\gamma_{G,sup} = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,35$$

$$\xi = 0,85$$

6.10a

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj,sup} * G_{k,j,sup} + \gamma_{Q,1} * \psi_{0,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

6.10b

$$\sum_{j \geq 1} \xi * \gamma_{Gj,sup} * G_{k,j,sup} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Tabulka 4: Modely zatížení pro kombinaci 6.10a,b

gr1	m_{xD}^- [kNm]	m_{yD}^- [kNm]
6.10a	486.55	82.33
6.10b	520.81	89.41

gr2	m_{xD}^- [kNm]	m_{yD}^- [kNm]
6.10a	421.55	70.55
6.10b	502.85	89.43

8 NÁVRH PŘEDPĚTÍ

Návrh předpínací síly vychází z podmínek omezení napětí v betonu v čase zakotvení předpínací výztuže t_0 a v čase životnosti mostu t_∞ . Pro návrh předpětí bylo využito metody ekvivalentního zatížení. Byla zvolena předpínací síla P_h a následně vypočteny primární účinky od předpětí na kabelu tvaru paraboly 2°. Takto bylo vloženo do programu SCIA Engineer 6 ekvivalentních kabelů a jejichž předpínací síla P_h se měnila podle podmínek omezení napětí, abychom vyvodili rozhodující napětí na horních/dolních vláknech.

Pro stanovení velikosti předpínací síly je rozhodující podmínka omezení tahových napětí na dolních vláknech při předpínání v čase t_∞

$$\begin{aligned}\sigma_{c1} & \dots\dots\dots \text{dolní vlákna} \\ \sigma_{c2} & \dots\dots\dots \text{horní vlákna} \\ t_0 & \dots\dots\dots r_{sup} = 1,1 \\ t_\infty & \dots\dots\dots r_{inf} = 0,9\end{aligned}$$

Předpínání v čase t_0

$$\begin{aligned}\sigma_{c1} &= -26,7 \text{ MPa} \geq -0,6 * f_{ck} = -27 \text{ MPa} \\ P_{m0} &\leq 22500 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{c2} &= 3,8 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 3,8 \text{ MPa} \\ P_{m0} &\leq 17700 \text{ kN}\end{aligned}$$

Předpínání v čase t_∞

Charakteristická kombinace

$$\begin{aligned}\sigma_{c2} &= -26,9 \text{ MPa} \geq -0,6 * f_{ck} = -27 \text{ MPa} \\ P_{m0} &\geq -21600 \text{ kN}\end{aligned}$$

Častá kombinace

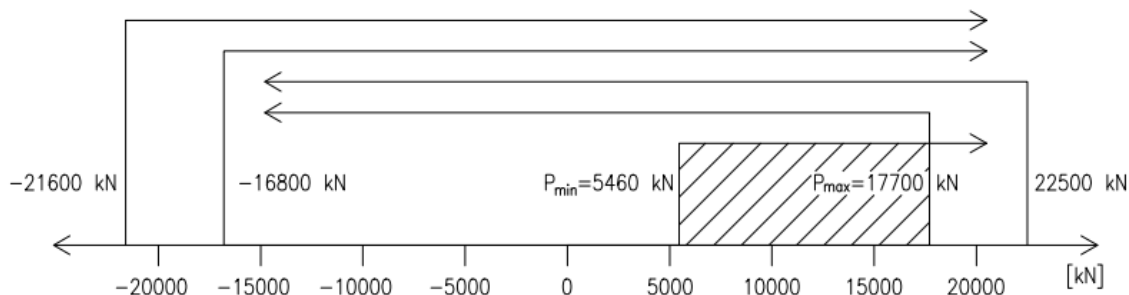
$$\begin{aligned}\sigma_{c1} &= 3,8 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 3,8 \text{ MPa} \\ P_{m0} &\geq 5460 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kvazistálá kombinace

$$\begin{aligned}\sigma_{c2} &= -20,20 \text{ MPa} \geq -0,45 * f_{ck} = -20,25 \text{ MPa} \\ P_{m0} &\geq -16800 \text{ kN}\end{aligned}$$

8.1 NÁVRH POČTU LAN

Z daných podmínek omezení napětí v betonu byl získán interval možné předpínací síly $P_{m0,min}$ a $P_{m0,max}$.



Obrázek 17: Interval nutné předpínací síly

$$P_{m0} = \min \{1,03 * P_{m0,min}; 0,5 * (P_{m0,min} + P_{m0,max})\}$$

$$P_{m0} = \min \{1,03 * 5460; 0,5 * (5460 + 17700)\}$$

$$P_{m0} = \mathbf{5623,80 \text{ kN}}$$

$$P_{m0,req} = \frac{P_{m0}}{r_{inf} * \text{krátkodobé ztráty}} = \frac{5623,80}{0,9 * 0,9} = \mathbf{6942,96 \text{ kN}}$$

8.2 NUTNÁ PLOCHA PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

$$A_{p,req} = \frac{P_{m0,req}}{\sigma_{pm,0}} = \frac{6942,96}{1328,40 * 10^3} = \mathbf{0,005227 \text{ m}^2}$$

8.3 NÁVRH POČTU PŘEDPÍNACÍCH LAN

Plocha jednoho lana $A_{p,1} = 150 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_{p,req}}{A_{p,1}} = \frac{0,005227}{150 * 10^{-6}} = \mathbf{34,8 \text{ ks}}$$

Navrženo 36 lan

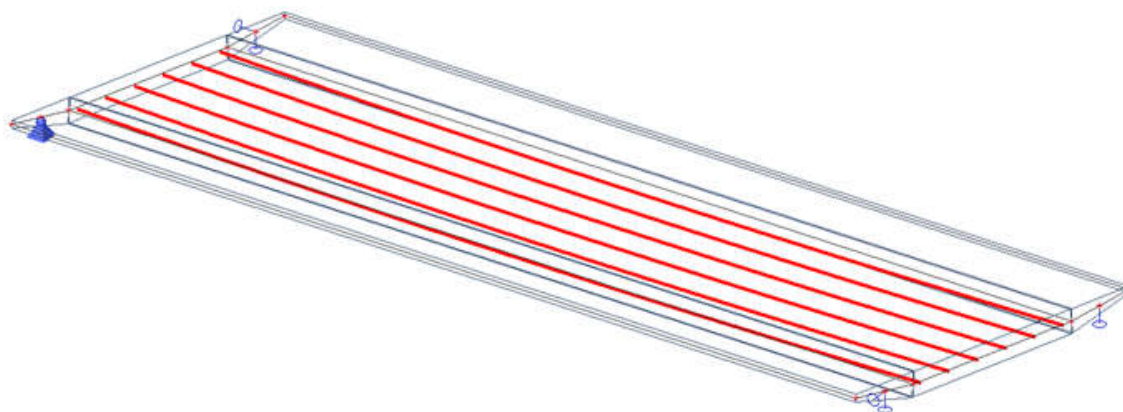
6 kabelů po 6 lanech

Osová vzdálenost 500 mm

$$A_{p,prov} = \mathbf{0,0054 \text{ m}^2}$$

9 UMÍSTĚNÍ PŘEDPÍNACÍCH KABELŮ

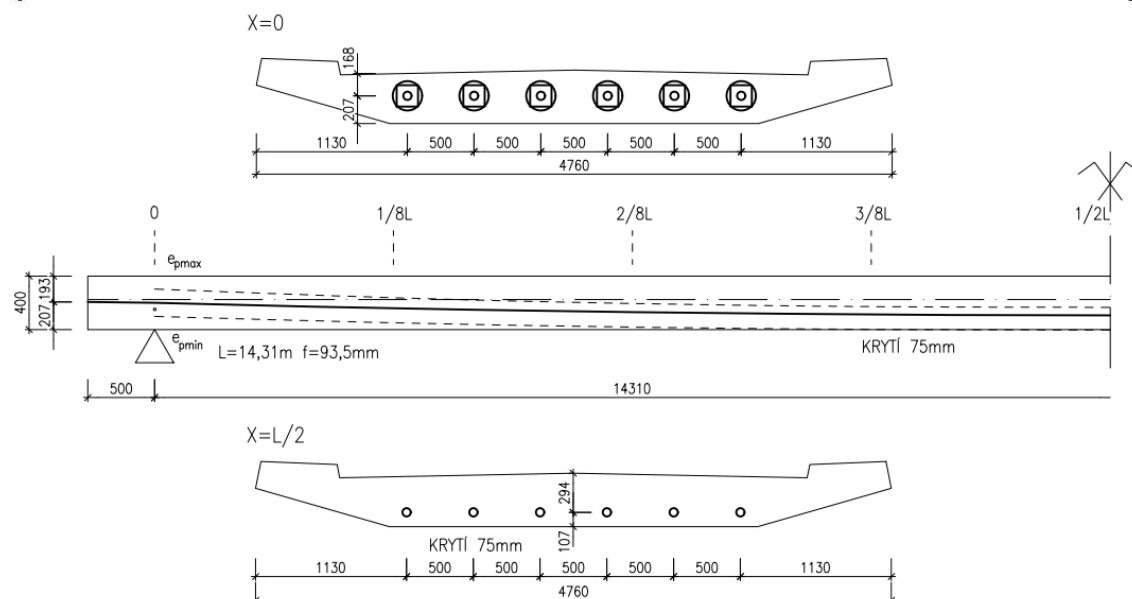
Mezi podporami jsou navrženy kabely ve tvaru paraboly 2°, přípustná poloha kabelu byla ověřena pomocí pěti podmínek omezení napětí v jednotlivých řezech a kombinacích. V přesazích desky jsou navrženy minimální délky přímých úseků 0,5 m. Vrchol paraboly je uprostřed rozpětí ve vzdálenosti 107 mm od spodního líce desky a zakotven 207 mm od spodního líce desky na okraji.



Obrázek 18: Výpočetní model s navrženy kabely

Tabulka 5: Interval možné polohy kabelu

L		4/8L	3/8L	2/8L	1/8L	0/8L
t_0 - dolní vlákna	$e_p \leq$	0.341 m	0.337 m	0.320 m	0.287 m	0.238 m
t_0 - horní vlákna	$e_{p,max} \leq$	0.228 m	0.224 m	0.207 m	0.175 m	0.126 m
charakteristická - horní vlákna	$e_p \geq$	-0.449 m	-0.442 m	-0.414 m	-0.361 m	-0.283 m
častá - dolní vlákna	$e_{p,min} \geq$	0.059 m	0.054 m	0.030 m	-0.013 m	-0.079 m
kvazistálá - horní vlákna	$e_p \geq$	-0.025 m	-0.029 m	-0.050 m	-0.087 m	-0.144 m



Obrázek 19: Návrh umístění kabelu

10 VÝPOČET OKAMŽITÝCH ZTRÁT

Ztráty vzniklé při předpínání a zakotvení předpínací výztuže. Ztráty třením, pokluzem a krátkodobou relaxací byly zjištěny pomocí programu SCIA Engineer

Ztráta postupným napínáním byla vypočtena ručním výpočtem.

Výpočet okamžitých ztrát byl proveden na průřezu oslabeném kabelovými kanálky o šířce 1 m.

Dle dodavatele předpínacího zařízení VSL jsou uvažovány tyto hodnoty:

$$\mu = 0,14$$

Součinitel tření mezi výztuží a kanálkem

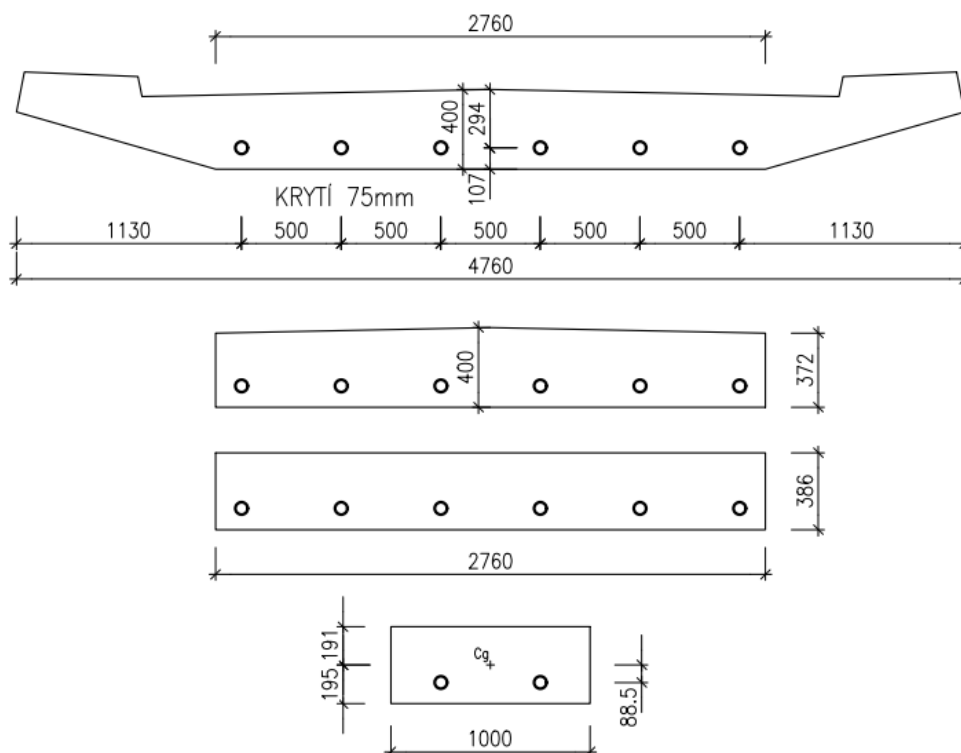
$$k = 0,01$$

Součinitel nezamýšlených úhlových změn

$$\delta_{ad} = 6 \text{ mm}$$

Pokluz v kotvě

10.1 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY OSLABENÉHO PRŮŘEZU KANÁLKY



Obrázek 20: Odvození oslabeného průřezu kanálky

10.2 CELKOVÉ OKAMŽITÉ ZTRÁTY

$$\sigma_{po,max} = 1476 \text{ MPa}$$

Počáteční napětí

$$\Delta\sigma_{p,\mu} = -20,05 \text{ MPa}$$

Ztráta předpětí třením

$$\Delta\sigma_{p,w} = -81,75 \text{ MPa}$$

Ztráta předpětí pokluzem v kotvě

$$\Delta\sigma_{p,ep} = -7,13 \text{ MPa}$$

Ztráta postupným napínání

$$\Delta\sigma_{p,r} = -6,45 \text{ MPa}$$

Ztráta krátkodobou relaxací výztuže

$$\sigma_{P,m0} = \sigma_{po,max} + \Delta\sigma_{p,\mu} + \Delta\sigma_{p,w} + \Delta\sigma_{p,ep} + \Delta\sigma_{p,r}$$

$$\sigma_{p\ m0} = 1476 - 20,05 - 81,75 - 7,13 - 6,45 = \mathbf{1354,62\ MPa}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\sigma_{P0,max} - \sigma_{P,0}}{\sigma_{P0,max}} \right) * 100\% = 8,22\%$$

10.3 POROVNÁNÍ VYPOČTENÝCH ZTRÁT S UVAŽOVANÝMI

Vypočteno	Předpokládáno
$\sigma_{P,m,t_0} = 1354,62 \text{ MPa}$ (8,22% ztráty)	$\sigma_{P,m0} = 1328,40 \text{ MPa}$ (10% ztráty)
$P_{m,t_0,prov} = 2438,32 \text{ kN}$ (8,22% ztráty)	$P_{m0,prov} = 2391,12 \text{ kN}$ (10% ztráty)

11 VÝPOČET DLOUHODOBÝCH ZTRÁT

11.1 POSOUZENÍ PRO ČASOVÉ INTERVALY:

$t_s = 7 \text{ dní}$	ošetřování betonu
$t_0 = 28 \text{ dní}$	vyzrání betonu a předepnutí
$t_{g1} = 6 \text{ měsíců} = 180 \text{ dní}$	zatížení svrškem mostu
$t_q = 8 \text{ měsíců} = 240 \text{ dní}$	zatížení dopravou
$t_r = 57 \text{ let} = 20805 \text{ dní}$	koncový okamžik pro relaxace
$t_\infty = 100 \text{ let} = 36500 \text{ dní}$	uvažovaná životnost mostu

Pro posouzení konstrukce byly dopočteny tyto ztráty:

Smršťováním betonu

Pružným přetvořením betonu

Dotvarováním betonu

Dlouhodobá relaxace výztuže – z programu SCIA Engineer

11.2 VÝSLEDNÉ DLOUHODOBÉ ZTRÁTY

$\Delta\sigma_{P,s}(t_0, t_\infty) = -39,21 \text{ MPa}$	Ztráta smršťováním betonu
$\Delta\sigma_{P,c}(t_0, t_\infty) = -35,50 \text{ MPa}$	Ztráta dotvarováním betonu v intervalu (t_0, t_∞)
$\Delta\sigma_{P,c}(t_{g1}, t_\infty) = -2,13 \text{ MPa}$	Ztráta dotvarováním betonu v intervalu (t_{g1}, t_∞)
$\Delta\sigma_{P,r,lt}(t_0, t_\infty) = -58,53 \text{ MPa}$	Ztráta dlouhodobou relaxací výztuže
$\Delta\sigma_{P,el,g1} = 1,98 \text{ MPa}$	Ztráta pružným přetvořením betonu v čase t_{g1}
$\Delta\sigma_{P,el,qk} = 16,26 \text{ MPa}$	Ztráta pružným přetvořením betonu v čase t_q char. k.
$\Delta\sigma_{P,el,q,\psi1} = 6,50 \text{ MPa}$	Ztráta pružným přetvořením betonu v čase $t_{q\psi}$ čas. k.

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{P,c+r+s}(t_0, t_\infty) &= \\ &= \frac{\Delta\sigma_{P,s}(t_0, t_\infty) + 0,8 * \Delta\sigma_{P,r,lt}(t_0, t_\infty) + \Delta\sigma_{P,c}(t_0, t_\infty)}{1 + \psi_{cr} * [1 + 0,8 * \varphi(t_0, t_\infty)]} + \frac{\Delta\sigma_{P,c}(t_{g1}, t_\infty)}{1 + \psi_{cr} * [1 + 0,8 * \varphi(t_{g1}, t_\infty)]} \\ &= \frac{-39,21 + 0,8 * (-58,53) + (-35,50)}{1 + 0,05154 * [1 + 0,8 * 1,290]} + \frac{-2,13}{1 + 0,05154 * [1 + 0,8 * 1,090]} \\ &= -111,96 \text{ MPa} \end{aligned}$$

11.3 STANOVENÍ PŘEDPÍNACÍ SÍLY V ČASE ŽIVOTNOSTI MOSTU

Kvazistálá kombinace

$$\sigma_{P,m,t_0} = \sigma_{P,m,t_0} + \Delta\sigma_{P,c+r+s}(t_0, t_\infty) + \Delta\sigma_{P,el,g_1} = 1354,62 - 111,96 + 1,98 =$$

$$\sigma_{P,m,t_0} = \mathbf{1244,64\ MPa}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\sigma_{P,m,t_0} - \sigma_{P,m,t_\infty}}{\sigma_{P,m,t_0}} \right) * 100\% = \mathbf{8,12\%} \quad \text{Celkové dlouhodobé ztráty předpětí}$$

Vypočteno

$$\sigma_{P,m,t_\infty} = \mathbf{1244,64\ MPa\ (8,12\% \text{ ztráty})}$$

$$P_{m,t_\infty} = \mathbf{2240,35\ kN\ (8,12\% \text{ ztráty})}$$

Předpokládáno

$$\sigma_{P,m,\infty} = \mathbf{1195,56\ MPa\ (10\% \text{ ztráty})}$$

$$P_{m,\infty} = \mathbf{2152,01\ kN\ (10\% \text{ ztráty})}$$

Charakteristická kombinace

$$\sigma'_{P,m,t_\infty} = \sigma_{P,m,t_\infty} + \Delta\sigma_{P,el,q_k} = 1244,64 + 16,26 = \mathbf{1260,88\ MPa}$$

$$P'_{m,t_\infty} = \sigma'_{P,m,t_\infty} * A_p = 1260,88 * 1,8 * 10^{-3} = \mathbf{2269,58\ kN}$$

Častá kombinace

$$\sigma_{P,m,t_\infty,\psi_1} = \sigma_{P,m,t_\infty} + \Delta\sigma_{P,el,q,\psi_1} = 1244,64 + 6,50 = \mathbf{1251,14\ MPa}$$

$$P_{m,t_\infty,\psi_1} = \sigma'_{P,m,t_\infty,\psi_1} * A_p = 1251,14 * 1,8 * 10^{-3} = \mathbf{2252,05\ kN}$$

12 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

12.1 OMEZENÍ NAPĚTÍ

Výpočet proveden na deskovém modelu s kabely pomocí Scia Engineer. Bylo stanoveno napětí v kabelech v čase životnosti mostu, toto napětí se vyjádřilo pomocí součinitele předpětí (zatížení) v programu SCIA Engineer. Hodnoty napětí v dolních a horních vláknech byly zjištěny v osminách rozpětí a jejich maximální hodnoty byly posouzeny za pomoci podmínek omezení napětí v čase t_0 a t_∞ .

12.1.1 Omezení napětí v předpínací výztuži

Napětí je stanoveno po ukončení předpínání a na konci životnosti mostu.

$$\sigma_{P,m,t_0} \leq 0,75 f_{pk}$$

Čas t_0 :

$$\sigma_{P,m,t_0} = \mathbf{1354,62\ MPa} \leq 0,75 * 1860\ MPa = \mathbf{1395\ MPa}$$

Čas t_∞ :

$$\sigma_{P,m,t_\infty} = \mathbf{1244,64\ MPa} \leq 0,75 * 1860\ MPa = \mathbf{1395\ MPa}$$

12.1.2 Omezení napětí betonu v tlaku

Čas t_0 : Vlastní tíha

$$\sigma_{k,t_0,sup} = 1490,08 \text{ MPa}$$

Dolní vlákna

$$|\sigma_{c1}| < 0,45 f_{ck}$$

$$|\sigma_{c1}| = 7,8 \text{ MPa} < 0,6 f_{ck} = 0,6 * 45 = 27,0 \text{ MPa}$$

$$< 0,45 f_{ck} = 0,45 * 45 = 20,25 \text{ MPa}$$

Horní vlákna:

$$\sigma_{c2} < f_{ct,eff}$$

$$-4,2 \text{ MPa} < 4,61 \text{ MPa}$$

-4,2 MPa



-7,8 MPa

Čas t_{∞} : Kvazistálá kombinace

$$\sigma_{k,t_{\infty},inf} = 1120,18 \text{ MPa}$$

Dolní vlákna

$$|\sigma_{c1}| < 0,45 f_{ck}$$

$$|\sigma_{c1}| = 4,7 \text{ MPa} < 0,45 f_{ck} = 0,45 * 45 = 20,25 \text{ MPa}$$

Horní vlákna

$$|\sigma_{c2}| < 0,45 f_{ck}$$

$$|\sigma_{c2}| = 6,2 \text{ MPa} < 0,45 f_{ck} = 0,45 * 45 = 20,25 \text{ MPa}$$

-4,7 MPa



-6,2 MPa

12.1.3 Omezení napětí betonu v tahu

Čas t_{∞} : Charakteristivká kombinace

$$\sigma'_{k,t_{\infty},inf} = 1134,79 \text{ MPa}$$

Dolní vlákna:

$$\sigma_{c1} < f_{ct,eff}$$

$$\sigma_{c1} = 3,0 \text{ MPa} < f_{ct,eff} = 4,61 \text{ MPa}$$

→ OHYBOVÉ TRHLINY NEVZNIKNOU

Horní vlákna

$$|\sigma_{c2}| < 0,6 f_{ck}$$

$$|\sigma_{c2}| = 9,4 \text{ MPa} < 0,6 f_{ck} = 0,6 * 45 = 27,0 \text{ MPa}$$

-9,4 MPa



3,0 MPa

Čas t_{∞} : Častá kombinace

$$\sigma_{k,t_{\infty},\psi_1,inf} = 1126,03 \text{ MPa}$$

Dolní vlákna:

$$\sigma_{c1} < f_{ct,eff}$$

$$\sigma_{c1} = 0,6 \text{ MPa} < f_{ct,eff} = 4,61 \text{ MPa}$$

Horní vlákna

$$|\sigma_{c2}| < 0,6 f_{ck}$$

$$|\sigma_{c2}| = 7,4 \text{ MPa} < 0,6 f_{ck} = 0,6 * 45 = 27,0 \text{ MPa}$$

-7,4 MPa



0,6 MPa

13 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – POSOUZENÍ NA OHYB

13.1 PODÉLNÝ SMĚR

Posouzení bylo provedeno v čase t_{∞} v polovině rozpětí nosné konstrukce. Při výpočtu uvažujeme charakteristické hodnoty vnitřních sil pro výpočet základního napětí.

Uvažujeme, že náběhy nepřenáší ohybový moment, proto integrací plochy ohybového momentu a následném přepočtu na šířku střední části 2,76 m byl získán ohybový moment ve střední části průřezu.

$$\sigma_{p,t}^0 = \mathbf{1244,36 \text{ MPa}}$$

Základní napětí

$$P_{t,\infty}^0 = A_p * \sigma_{p,t}^0 = 0,0018 * 1244,36 * 10^6 = \mathbf{2239,85 \text{ kN}}$$

Základní předpínací síla

$$P_{d,t,\infty}^0 = \gamma_p * P_{t,\infty}^0 = 1,0 * 2239,85 = \mathbf{2239,85 \text{ kN}}$$

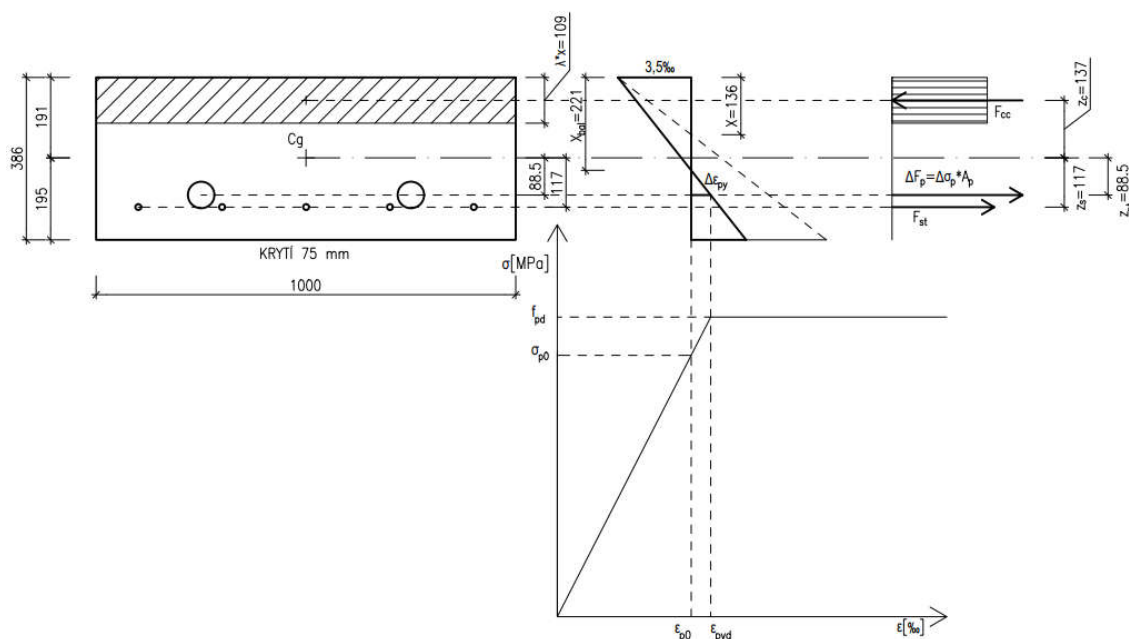
Návrhová předpínací síla

Pomocí tlakové rezervy byla určena výslednice síly v předpínací výztuži.

$$\Delta\sigma_p = f_{pd} - \sigma_{p,t}^0 = 1426,09 - 1244,36 = \mathbf{181,73 \text{ MPa}}$$

$$\Delta F_p = \Delta\sigma_p * A_p = 181,73 * 10^6 * 0,0018 = \mathbf{327,11 \text{ kN}}$$

Ověření započitatelnosti předpínací výztuže.



Obrázek 21: Pracovní diagram předpínací výztuže

$$x_{bal} = \mathbf{0,221 \text{ m}} > x = \mathbf{0,119 \text{ m}} \quad \mathbf{VÝZTUŽ \text{ PLNĚ VYUŽITA}}$$

Následně bylo provedeno posouzení na maximální ohybový moment z kombinace 6.10b a byl redukován o moment M_{Pd} závislý na předpínací síle a excentricitě kabelu v polovině rozpětí.

$$M_{Ed} = M_{Fd} - M_{Pd} = 635,51 - 199,35 = \mathbf{436,16 \text{ kNm}}$$

Výpočet únosnosti

$$\begin{aligned} M_{Rd,p} &= F_{cc} * z_{cc} + \Delta F_p * z_{pt} = \lambda * x * b * f_{cd} * z_{cc} + \Delta F_p * z_{pt} = \\ &= 0,8 * 0,119 * 1,0 * 27 * 10^6 * 0,143 + 327,11 * 10^3 * 0,089 = \mathbf{396,68 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$M_{Rd,p} = \mathbf{396,68 \text{ kNm}} < M_{Ed} = \mathbf{436,16 \text{ kNm}} \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

Navržená konstrukce nevyhověla na mez únosnosti pouze s podélnou předpínací výztuží a proto je potřeba navrhnout přídatnou betonářskou výztuž. Betonářská výztuž byla navržena na rozdíl momentu únosnosti a od zatížení. Následně byla přepočtena tlačná plocha průřezu a provedeno nové posouzení na únosnost.

$$\text{Navrženo } \varnothing 14 \text{ po } 200 \text{ mm} \quad A_{s,pod}^d = 7,70 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$x_{bal} = \mathbf{0,221 \text{ m}} > x = \mathbf{0,136 \text{ m}} \quad \text{VÝZTUŽ PLNĚ VYUŽITA}$$

$$M_{Rd,s} = A_{s,pod}^d * f_{yd} * z_s = 7,70 * 10^{-4} * 478,26 * 10^6 * 0,117 = \mathbf{43,09 \text{ kNm}}$$

$$M_{Rd} = M_{Rd,p} + M_{Rd,s} = 396,68 + 43,09 = \mathbf{439,77 \text{ kNm}}$$

$$M_{Rd} = \mathbf{439,77 \text{ kNm}} > M_{Ed} = \mathbf{436,16 \text{ kNm}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

13.2 PŘÍČNÝ SMĚR

$$\text{Posouzení pro čas } t_{\infty} \text{ a řez } x = L/8 \quad M_{Ed} = 137,12 \text{ kNm}$$

Výztuž byla navržena standartním způsobem pomocí podmínky rovnováhy vnitřních a vnějších sil.

$$\text{Navrženo } \varnothing 16 \text{ po } 200 \text{ mm} \quad A_{s,přič}^d = 10,05 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$z = d - \frac{\lambda * x}{2} = 0,323 - \frac{0,8 * 0,0223}{2} = \mathbf{0,314 \text{ m}}$$

$$M_{Rd} = A_{s,přič}^d * f_{yd} * z = 10,05 * 10^{-4} * 478,26 * 10^6 * 0,314 = \mathbf{150,90 \text{ kNm}}$$

$$M_{Rd} = \mathbf{150,90 \text{ kNm}} > M_{Ed} = \mathbf{137,12 \text{ kNm}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

13.3 NÁVRH VÝZTUŽE PŘI HORNÍM LÍCÍ DESKY

Výztuž navržena dle konstrukčních zásad

13.3.1 Podélná horní výztuž

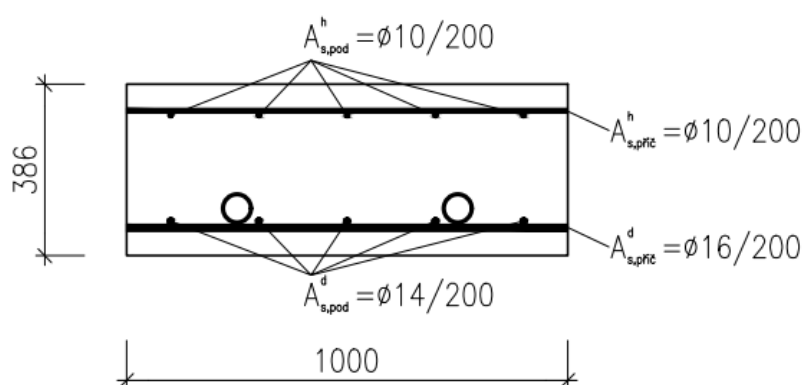
$$A_{s,pod}^h = 0,25 * A_{s,pod}^d = 0,25 * 7,70 * 10^{-4} = 1,95 * 10^{-4} m^2$$

$$\Rightarrow \text{NAVRŽENO } \varnothing 10 \text{ po } 200 \text{ mm}; A_{s,pod}^h = 3,93 * 10^{-4} m^2$$

13.3.2 Příčná horní výztuž

$$A_{s,příč}^h = 0,13 * A_{s,pod}^d = 0,13 * 7,70 * 10^{-4} = 1,00 * 10^{-4} m^2$$

$$\Rightarrow \text{NAVRŽENO } \varnothing 10 \text{ po } 200 \text{ mm}; A_{s,pod}^h = 3,93 * 10^{-4} m^2$$



Obrázek 22: Schéma betonářské výztuže uprostřed rozpětí

14 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – POSOUZENÍ NA SMYK

Pro smykovou únosnost vyvozovala nejnepříznivější účinky sestava zatížení gr2 – obslužné vozidlo, která byla umístěna tak, aby vyvolala co nejnepříznivější účinky v daných řezech na konstrukci.

Kabel je zakřiven po celé délce, proto se projeví vliv svislé síly od předpětí po celé délce kabelu, uprostřed rozpětí se tato hodnota rovná nule.

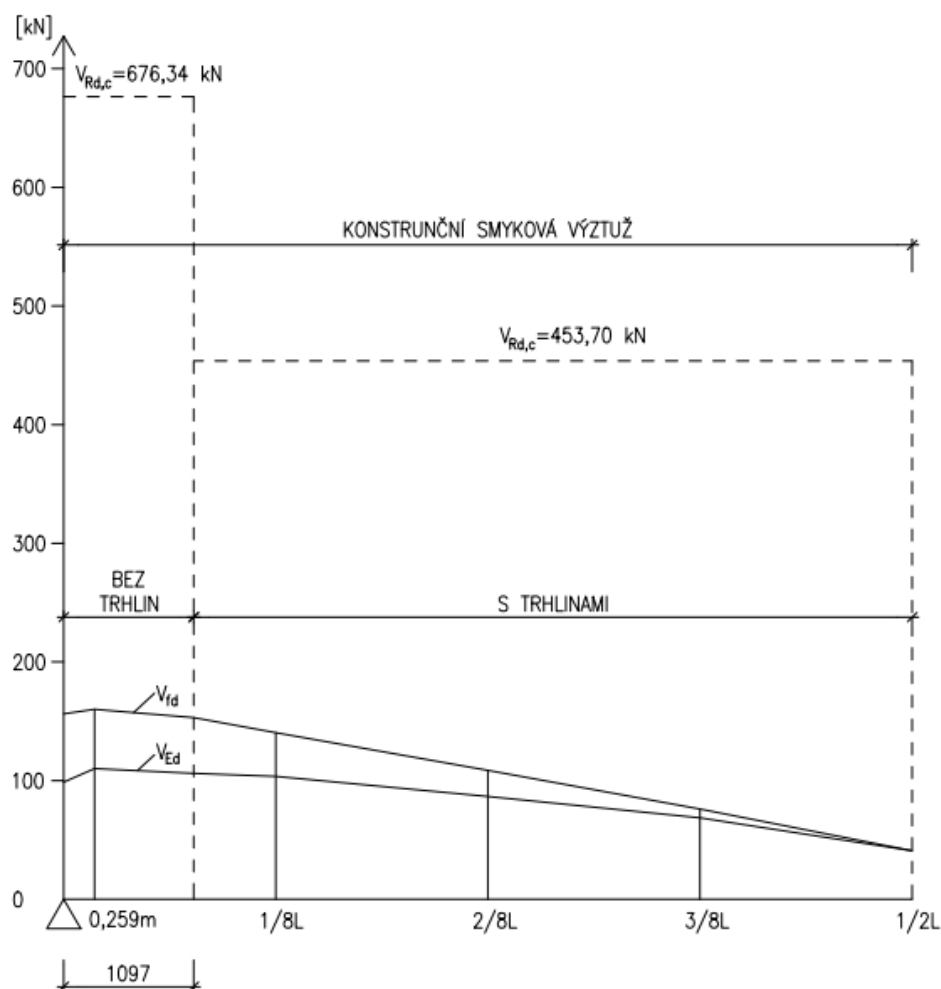
Konstrukce byla posouzena v osminách rozpětí a ve vzdálenosti d od podpory. Pomocí podmínek napětí jsme určili místo vzniku trhlin a posoudili konstrukci se vznikem smykových trhlin a bez vzniku smykových trhlin.

Tabulka 6: Výpočet posouvajících sil na jednotlivých řezech

Řez	x [m]	e_x [m]	m_{fd} [kNm]	v_{fd} [kN]	α [°]	v_{pd} [kN]	v_{Ed} [kN]
0	0.000	-0.0050	45.38	156.23	1.47	-57.48	98.76
d	0.259	0.0017	101.68	160.18	1.28	-50.05	110.14
x	1.097	0.0215	213.77	153.11	1.20	-46.92	106.20
1/8 L	1.789	0.0359	298.90	140.37	0.94	-36.75	103.62
1/4 L	3.578	0.0651	485.35	108.58	0.56	-21.89	86.69
3/8 L	5.366	0.0827	598.10	76.07	0.19	-7.43	68.65
1/2 L	7.155	0.0885	635.51	40.98	0.00	0.00	40.98

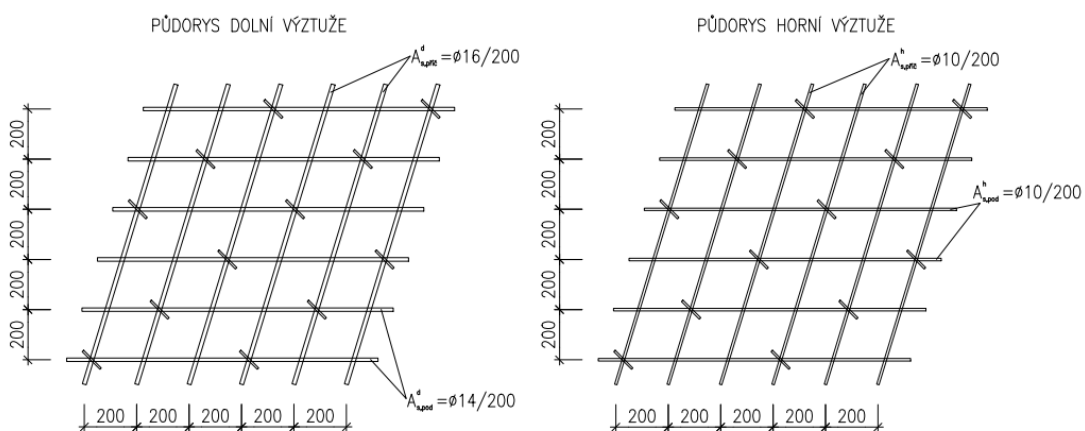
Tabulka 7: Napětí v horních a dolních vláknech v jednotlivých řezech

Řez	x [m]	σ_{c1} [MPa]	σ_{c2} [MPa]
0	0.000	-3.710	-9.464
d	0.259	-1.591	-11.546
x	1.097	1.800	-14.961
1/8 L	1.789	4.595	-17.625
1/4 L	3.578	10.802	-23.725
3/8 L	5.366	14.572	-27.430
1/2 L	7.155	15.820	-28.657



Obrázek 23: Grafické vykreslení posouvajících sil od zatížení a snížených od předpětí

Na celou plochu desky je navržena pouze konstrukční smyková výztuž, aby bylo splněno minimálně 9 spon na 1 m².



Obrázek 24: Půdorys uspořádání betonářské výztuže

15 KOTEVNÍ OBLAST

Pro návrh byla zvolena kotva VSL TYPE E @43/53 MPa. Kotevní oblast vyhověla na soustředný tlak. Následně byla posouzena lokální oblast pod kotvou a dle doporučení výrobce byla navržena spirála $\varnothing = 16$ mm, 6 závitů. Při posouzení povrchu kotevní oblasti byla navržena výztuž $2 \times \varnothing 12$

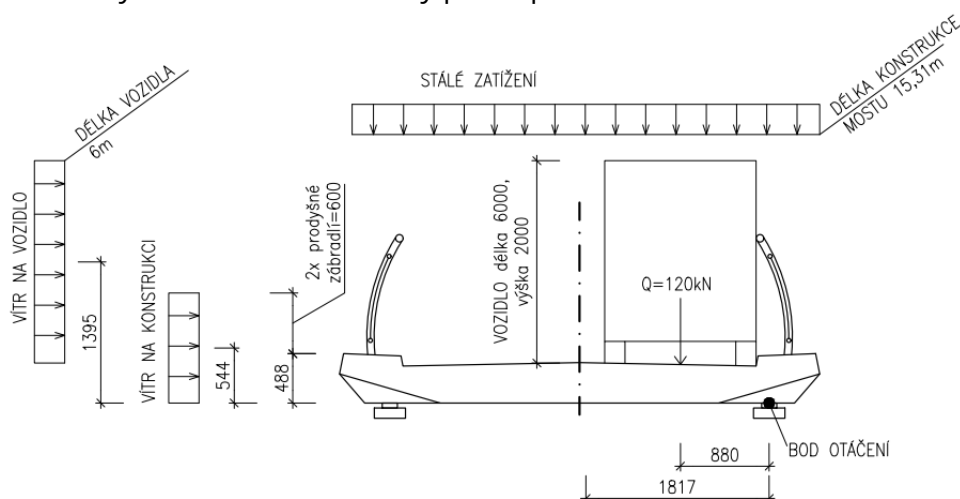
V globální oblasti byly navrženy 4 x čtyřstržňné mříže $\varnothing 16$

16 POSOUZENÍ NA PŘEKLOPENÍ

Vzhledem k nízké tloušťce desky je nutné posoudit konstrukci na ztrátu stability překlopením. Pro výpočet účinku větru ve směru x bylo využito zjednodušené metody. Uvažujeme, že vítr působí na konstrukci mostu, plochu prodyšného zábradlí a vozidla o výšce 2 m nad povrchem vozovky.

Dle mapy větrných oblastí ČR jsme určili větrnou oblast, kategorie terénu byla zvolena – městská zástavba.

Poměr stabilizujícího momentu ku destabilizujícímu vyšel 72 což znamená že konstrukce vyhoví na ztrátu stability překlopením.



Obrázek 25: Účinky zatížení větrem

17 OMEZENÍ PRŮHYBU

Pomocí programu SCIA Engineer byly stanoveny průhyby v jednotlivých zatěžovacích stavech. Při sečtení časté kombinace proměnného zatížení a celkových průhybů od zatěžovacích stavů dostaneme průhyb 7,55 mm takže konstrukce splňuje podmínku $v_{lim} = \frac{L}{600}$ a vyhovuje na přetvoření.

18 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl návrh lávky pro pěší a cyklisty, která přemostňuje řeku Balinka ve městě Velké Meziříčí. Byly vypracovány 3 varianty, ze kterých byla na základě požadovaných vlastností vybrána neoptimálnější varianta.

Úlohou bylo navrhnout a posoudit desku na mezní stav použitelnosti a únosnosti. Pro zatížení dopravou byl vybrán zatěžovací model chodci a obslužným vozidlem dle ČSN EN 1991-2. Pro výpočet vnitřních sil byl využit program SCIA Engineer a jeho výsledky byly ověřeny ručním výpočtem a metodou spolupůsobící šířky. Při porovnání výsledků z programu a ručním výpočtem jsme zjistili, že ruční výpočet díky velkému zjednodušení nevystihuje dostatečně přesně statický model konstrukce.

Předpínací síla byla navržena pomocí metody ekvivalentního zatížení za využití pěti podmínek omezení napětí v betonu. Okamžité ztráty předpětí, byly odečteny z programu SCIA Engineer s výjimkou ztráty postupného napínání – dopočtena ručně. Dlouhodobé ztráty byly vypočteny ručním výpočtem s výjimkou ztráty dlouhodobé relaxace výztuže – odečtena z programu SCIA Engineer.

Konstrukce byla ověřena na napětí v betonu na horních/dolních vláknech v čase životnosti mostu. Bylo zamezeno vzniku trhlin při charakteristické kombinaci čímž konstrukce vyhověla na šířku trhlin.

Při mezním stavu únosnosti bylo nutné navrhnout dodatečnou betonářskou výztuž v podélném směru. Konstrukce vyhověla ve všech posudcích na únosnost. Pro smykovou únosnost byla navržena pouze konstrukční smyková výztuž.

Na závěr byla konstrukce posouzena v kotevní oblasti. Při výpočtu byly zanedbány brzdné, rozjezdové a odstředivé síly působící na konstrukci, také zatížení sněhem a teplotou nebylo uvažováno.

Účinky větru byly zohledněny při posouzení na překlopení. Konstrukce vyhověla při posouzení na podmínku pro maximální průhyb.

Přílohou práce je projektová dokumentace zpracována v programu AutoCAD a vizualizace v programu Revit.

19 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Radim NEČAS, Jan KOLÁČEK a Josef PANÁČEK. BL12 - Betonové mosty I: zásady navrhování. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia. ISBN 9788021449794.

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů.

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991 - 2: Zatížení mostů dopravou.

ČSN EN 1992 - 1 - 1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1992 - 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady

VL 4 - MOSTY: Vzorové listy staveb pozemních komunikací

TP 86: Mostní závěry

TP 107: Odvodnění mostů pozemních komunikací

TP 160: Mostní elastomerová ložiska

TP 258: Mostní zábradlí

TP 260: Přímou pojížděné mostovky pozemních komunikací

VSL SYSTÉMY /CZ/, s.r.o. [online] dostupné na→
<http://www.vsl.cz/dodatecnepredpinani/2-kotvy/>

20 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

20.1 LATINSKÁ PÍSMENA

SYMBOL	VÝZNAM	JEDNOTKA
A_c	plocha betonového průřezu	m^2
$A_{c,r}$	plocha oslabeného betonového průřezu	m^2
A_{p1}	průřezová plocha 1 předpínacího lana	mm^2
A_p	celková průřezová plocha předpínací výztuže	m^2
$A_{p,req}$	nutná průřezová plocha předpínací výztuže	m^2
A_s	celková průřezová plocha betonářské výztuže	m^2
$A_{s,req}$	nutná průřezová plocha betonářské výztuže	m^2
$A_{s,min}$	minimální průřezová plocha betonářské výztuže	m^2
b	šířka posuzovaného průřezu	m
c	krytí výztuže	mm
d	vzdálenost výztuže od horního povrchu	m
E_{cm}	modul pružnosti betonu	GPa
E_p	modul pružnosti předpínací výztuže	GPa
E_s	modul pružnosti oceli	GPa
e_p	excentricita předpínací výztuže	m
$e_{p,r}$	excentricita předpínací výztuže v oslabeném průřezu	m
F_{cc}	výslednice sil v tlačené oblasti betonu	kN
F_s	výslednice sil v tažené betonářské výztuži	kN
F_{Rd}	únosnost konstrukce při předpínání	kN
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku	MPa
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku	MPa
f_{ctm}	střední hodnota pevnosti betonu v tlaku	MPa
f_{pd}	návrhová hodnota pevnosti předpínací výztuže v tahu	MPa
f_{pk}	charakteristická hodnota pevnosti předpínací výztuže v tahu	MPa
$f_{p0,1,k}$	charakteristická hodnota pevnosti předpínací výztuže v tahu na mezi 0,1	MPa
f_{yd}	návrhová hodnota pevnosti betonářské výztuže v tahu	MPa
f_{yk}	charakteristická hodnota pevnosti betonářské výztuže v tahu	MPa
h	výška průřezu	m
h_0	náhradní výška průřezu při výpočtu smršťování a dotvarování	m
I_c	moment setrvačnosti betonového průřezu	m^4
$I_{c,r}$	moment setrvačnosti oslabeného betonového průřezu	m^4
k	součinitel nezamýšlených úhlových změn kabelu pro místo x	-
L	rozpětí mostu	m

$M_{Ed,i}$	návrhová hodnota maximálního momentu i-té kombinace zatížení	kNm
$M_{Ek,i}$	charakteristická hodnota maximálního momentu i-té kombinace zatížení	kNm
M_{Rd}	momentová únosnost	
$m_x D^-$	max. dimenzační ohybový moment při spodních vláknech ve směru x na 1m šířky	kNm
$m_y D^-$	max. dimenzační ohybový moment při spodních vláknech ve směru y na 1m šířky	kNm
N	počet	ks
$P_{t,\infty}^0$	základní předpínací síla	kN
$P_{d,t,\infty}^0$	návrhová předpínací síla	kN
$P_{m,0}$	předpínací síla v čase t_0	kN
$P_{m,\infty}$	předpínací síla v čase t_∞	kN
$P_{m,0,prov}$	provedená předpínací síla	kN
$P_{m,0,req}$	nutná předpínací síla	kN
Q_{ik}	charakteristická hodnota soustředného zatížení od dopravy	kN
q_{ik}	charakteristická hodnota rovnoměrného zatížení od dopravy	kN/m
t_0	čas po zakotvení předpínací výztuže	den
t_∞	čas na konci životnosti konstrukce	den
t_{cor}	čas korekce relaxací podržením napětí	min
u	obvod vystavený vysychání	m
V_{Ed}	návrhová posouvající síla	kN
$V_{Rd,c}$	únosnost prvku bez smykové výztuže	kN
W_c	průřezový modul betonového průřezu	m ³
$W_{c,r}$	průřezový modul oslabeného betonového průřezu	m ³
x	výška tlačené oblasti betonu	m
z_1	vzdálenost od těžiště průřezu ke spodnímu okraji průřezu	m
z_2	vzdálenost od těžiště průřezu k hornímu okraji průřezu	m
$z_{1,2r}$	vzdálenost od těžiště průřezu k okrajům oslabeného průřezu	m
z_{cc}	rameno vnitřních sil výslednice tlačené oblasti betonu	m
z_s	rameno vnitřních sil výslednice tažené betonářské výztuže	m

20.2 ŘECKÁ PÍSMENA

SYMBOL	VÝZNAM	JEDNOTKA
α_{cc}	redukční součinitel betonu	-
α_x	součinitel zamýšlených úhlových změn kabelu pro místo x	rad
β_i	součinitel i-významu při výpočtu smršťování a dotvarování betonu	-
γ_c	redukční součinitel betonu	-
γ_s	redukční součinitel oceli	-
ΔF_p	silová rezerva v předpínací výztuži	kN
$\Delta \sigma_p$	tlaková rezerva v předpínací výztuži	MPa
$\Delta \sigma_{pi}$	změna i napětí ve výztuži	MPa
ε_c	poměrné přetvoření betonu	-
ε_s	poměrné přetvoření oceli	-
ε_p	poměrné přetvoření předpínací výztuže	-
λ	redukční součinitel	-
μ	součinitel tření mezi výztuží a kanálkem	-
ρ_l	stupeň vyztužení	-
σ_{c1}	napětí v dolních vláknech průřezu	MPa
σ_{c2}	napětí v horních vláknech průřezu	MPa
σ_{p0}	základní napětí v předpínací výztuži	MPa
σ_p	napětí v předpínací výztuži	MPa
$\sigma_{p0,max}$	maximální napětí v předpínací výztuži při napínání	MPa
ψ_i	součinitel i-té kombinace zatížení	-
ϕ_i	součinitel dotvarování významu i	-
\emptyset	průměr betonářské výztuže	mm

21 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Situace širších vztahů</i>	11
<i>Obrázek 2: Situace</i>	11
<i>Obrázek 3: Varianta A – podélný řez</i>	12
<i>Obrázek 4: Varianta A - příčný řez</i>	12
<i>Obrázek 5: Varianta B - podélný řez</i>	13
<i>Obrázek 6: Varianta B - příčný řez</i>	13
<i>Obrázek 7: Varianta C - podélný řez</i>	14
<i>Obrázek 8: Varianta C - příčný řez</i>	14
<i>Obrázek 9: Schématický podélný řez</i>	15
<i>Obrázek 10: Schématický příčný řez</i>	15
<i>Obrázek 11: Rovnoměrné zatížení - chodci</i>	17
<i>Obrázek 12: Obslužné vozidlo</i>	18
<i>Obrázek 13: Obslužné vozidlo - roznos zatížení</i>	18
<i>Obrázek 14: Skutečný průřez</i>	19
<i>Obrázek 15: Idealizovaný průřez</i>	19
<i>Obrázek 16: Výpočetní model</i>	19
<i>Obrázek 17: Interval nutné předpínací síly</i>	23
<i>Obrázek 18: Výpočetní model s navrženými kabely</i>	24
<i>Obrázek 19: Návrh umístění kabelu</i>	24
<i>Obrázek 20: Odvození oslabeného průřezu kanálky</i>	25
<i>Obrázek 21: Pracovní diagram předpínací výztuže</i>	29
<i>Obrázek 22: Schéma betonářské výztuže uprostřed rozpětí</i>	31
<i>Obrázek 23: Grafické vykreslení posouvajících sil od zatížení a snížených od předpětí</i>	33
<i>Obrázek 24: Půdorys uspořádání betonářské výztuže</i>	33
<i>Obrázek 25: Účinky zatížení větrem</i>	34

22 SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Porovnání výsledků ručního výpočtu a SCIA Engineer</i>	20
<i>Tabulka 2: Ohybový moment uprostřed rozpětí pro jednotlivé zatěžovací stavy</i>	20
<i>Tabulka 3: Kombinace zatížení pro jednotlivé zatěžovací modely</i>	21
<i>Tabulka 4: Modely zatížení pro kombinaci 6.10a,b</i>	21
<i>Tabulka 5: Interval možné polohy kabelu</i>	24
<i>Tabulka 6: Výpočet posouvajících sil na jednotlivých řezech</i>	32
<i>Tabulka 7: Napětí v horních a dolních vláknech v jednotlivých řezech</i>	32

23 SEZNAM PŘÍLOH

P1. PODKLADY, STUDIE A VIZUALIZACE

P1.1 Použité podklady	
P1.2 Varianta A	M1:100
P1.2 Varianta B	M1:100
P1.3 Varianta C	M1:100
P1.4 Vizualizace	

P2. PŘEHLEDNÉ A PODROBNÉ VÝKRESY ZVOLENÉ VARIANTY

P2.1. Půdorys	M1:100
P2.2. Podélný řez A-A	M1:50
P2.3. Příčný řez B-B	M1:50
P2.4. Příčný řez C-C	M1:50
P2.5. Výkres předpínací výztuže	M1:25
P2.6. Výkres betonářské výztuže	M1:20

P3. STATICKÝ VÝPOČET